

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
23 octobre 2003 (23.10.2003)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 03/087906 A1

(51) Classification internationale des brevets⁷ : **G02B 6/16**

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR03/01197

(22) Date de dépôt international : 15 avril 2003 (15.04.2003)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
02/04821 17 avril 2002 (17.04.2002) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **HIGH-WAVE OPTICAL TECHNOLOGIES** [FR/FR]; Espace Pegase, 11, rue de Broglie, F-22300 Lannion (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **MUG-NIER, Alain** [FR/FR]; 17, rue de la Gare, F-22140

Begard (FR). **LEROUX, Rachele** [FR/FR]; N° 15, Bel Air, F-22740 Pleumeur-Gautier (FR). **YVERNAULT, Philippe** [FR/FR]; 3, rue Jeanne d'Arc, F-22300 Lannion (FR). **PUREUR, David** [FR/FR]; 117, boulevard de la Corniche, F-22700 Perros-Guirec (FR).

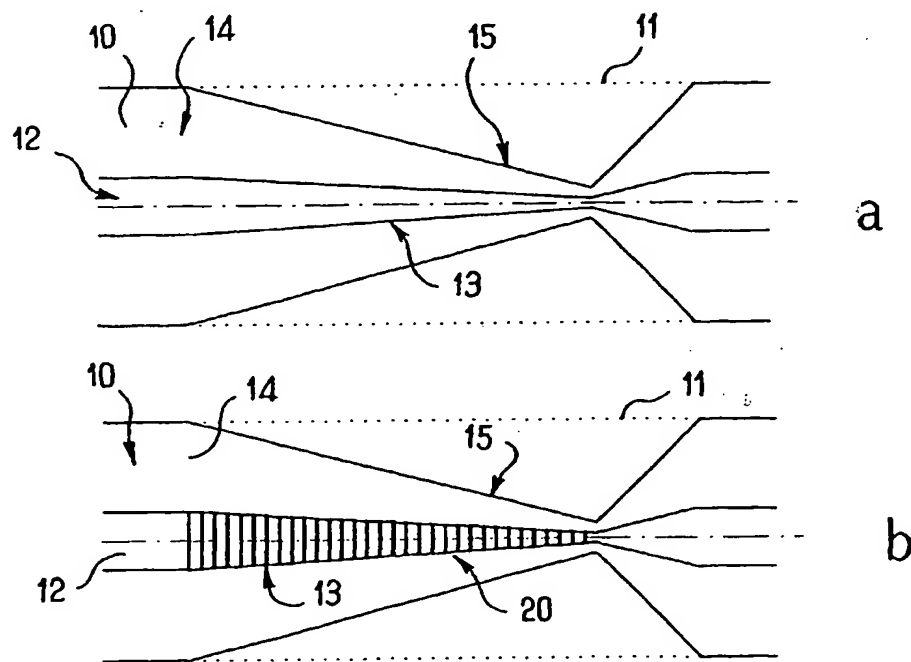
(74) Mandataires : **MARTIN, Jean-Jaques** etc.; Cabinet Regimbeau, 20, rue de Chazelles, F-75847 Paris Cedex 17 (FR).

(81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD FOR PRODUCTION OF A TUNABLE OPTICAL FILTER

(54) Titre : PROCEDE DE REALISATION D'UN FILTRE OPTIQUE ACCORDABLE



(57) Abstract: The invention relates to a method for production of an optical filter, characterised in comprising the following operation steps on an optical guide (10): a control operation on the expanding internal shape of the guide, preferably by fusion drawing and the etching of a Bragg grating (20), using methods which permit an independent control of both the longitudinal variation of the Bragg wavelength and the longitudinal variation in external profile of the guide.

[Suite sur la page suivante]



WO 03/087906 A1

WO 03/087906 A1



(84) États désignés (*régional*) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(57) Abrégé : La présente invention concerne un procédé de réalisation d'un filtre optique caractérisé par le fait qu'il comprend les étapes consistant à opérer sur un guide optique (10): une opération de contrôle du profil évolutif intérieur du guide, de préférence par fusion-étirage et l'inscription d'un réseau de Bragg (20), selon des techniques qui permettent de contrôler de manière indépendante la variation longitudinale de la longueur d'ondes de Bragg d'une part, et la variation longitudinale du profil extérieur du guide d'autre part.

PROCEDE DE REALISATION D'UN FILTRE OPTIQUE ACCORDABLE.

DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention concerne le domaine des
5 télécommunications et plus particulièrement celui des communications
optiques par fibre optique.

Plus précisément encore la présente invention concerne le
domaine des guides optiques filtrant, de préférence accordables. Elle
vise ainsi notamment la réalisation de compensateurs de dispersion
10 chromatique, fixes ou accordables.

PROBLEME TECHNIQUE POSE

De manière générale, le problème technique que vise à résoudre
la présente invention est celui de la réalisation de filtres optiques
accordables.

15 Un exemple particulièrement significatif de ce problème
technique est la nécessité d'une compensation de dispersion
chromatique accordable pour le déploiement des réseaux optiques à
haut débit (40 Gbit/s et plus).

La dispersion chromatique décrit l'élargissement temporel des
20 impulsions lumineuses lors de leur propagation dans une fibre optique
et résulte principalement de la variation de l'indice de réfraction avec la
longueur d'onde. Cet élargissement conduit à un recouvrement temporel
des impulsions successives après de longues distances, lequel cause des
erreurs de bits au récepteur.

25 Le déploiement de réseaux à haut débit devient aujourd'hui
fortement limité par la dispersion chromatique, du fait de l'augmentation
de la densité des communications.

Dans les systèmes à haut débit, les tolérances de dispersion
deviennent faibles si bien que des variations de dispersion jusqu'ici
30 négligeables pour un système à 10 Gbit/s peuvent sévèrement
influencer les performances des réseaux de communications à 40 Gbit/s.
Les tolérances sont inversement proportionnelles au carré du débit. Elles

valent typiquement 500 ps/nm, 30 ps/nm, 2 ps/nm, respectivement pour des débits de 10 Gbit/s, 40 Gbit/s et 160 Gbit/s.

De plus la valeur de la compensation de dispersion nécessaire au niveau du récepteur pour maintenir une performance optimale du système peut varier dans le temps suite à certaines altérations telles que les fluctuations de température le long de la fibre ou les reconfigurations dynamiques du réseau.

Pour résoudre ces problèmes, un contrôle actif de la compensation de dispersion est donc primordial dans les systèmes à haut débit. En particulier, il est nécessaire de compenser canal par canal la dispersion chromatique résiduelle en fin de ligne par un dispositif accordable.

ETAT DE LA TECHNIQUE

Un certain nombre de solutions au problème de la compensation de dispersion chromatique accordable ont été proposées antérieurement.

Une première solution consiste à utiliser une cavité résonante formant un étalon dit de Gires-Tournois et à réaliser l'accordabilité en modifiant l'angle d'incidence ou la température du composant (cf. brevet EP 1098212 « Tunable dispersion compensator »). Cette solution a l'inconvénient de ne pas être tout-fibre et présente a priori des pertes d'insertion conséquentes. Le retard d'un seul étalon n'est pas linéaire, seule une combinaison de deux éléments permet d'obtenir une dispersion constante dans la bande utile. De plus, la gamme d'accordabilité est insuffisante pour les largeurs de bandes qui intéressent aujourd'hui les télécommunications optiques, la dispersion maximale étant inversement proportionnelle au carré de la largeur de bande.

Une autre solution, plus répandue, consiste à utiliser une fibre à réseau de Bragg dont le pas varie le long du réseau. La variation longitudinale de la longueur d'onde de Bragg (communément qualifiée de « chirp » du réseau de Bragg) permet d'induire un retard en réflexion variable suivant la longueur d'onde incidente. Pour inscrire un réseau de

Bragg à l'intérieur de la fibre, le cœur voire une partie de la gaine optique est dopé avec un matériau rendant la fibre photosensible. Une modulation longitudinale de l'indice de réfraction est ensuite induite en irradiant la fibre par un champ de franges ultraviolettes créé par un
5 dispositif interférométrique (préférentiellement un masque de phase dont l'évolution longitudinale du pas est celle souhaitée).

Différentes possibilités ont été envisagées pour réaliser l'accordabilité de ce type de composant. Deux paramètres physiques permettent de modifier localement la longueur d'onde de Bragg : ce
10 sont la contrainte mécanique et la température.

Une première possibilité pour modifier la dispersion est d'induire une variation longitudinale d'un des deux précédents paramètres. De nombreux exemples illustrent cette option (cf par exemple brevet EP 1024376 « Optical grating device with variable coating » ou brevet EP
15 1030472 « Optical communication system incorporating automatic dispersion compensation modules »). Les moyens proposés à cet effet mettent généralement en œuvre des dépôts d'épaisseur variable le long de la fibre (métal conducteur pour agir sur la température, matériau de propriétés mécaniques similaires à la silice pour agir sur la contrainte
20 mécanique). Cependant la maîtrise d'un tel gradient d'épaisseur n'est pas a priori chose aisée, l'épaisseur maximale nécessaire pour avoir un gradient de contraintes suffisant étant par ailleurs importante. De plus, cette méthode d'accordabilité de la dispersion s'accompagne d'un décalage de la longueur d'onde centrale du filtre.

25 Une seconde possibilité d'accordabilité de la dispersion consiste à utiliser une variation longitudinale non linéaire du « chirp » : on peut ainsi concevoir un réseau de Bragg dont la dispersion varie par exemple quasi linéairement dans la bande réfléchive. Ceci a été proposé en utilisant une variation non linéaire du pas du réseau de Bragg (cf. brevet
30 WO 9931537 « Tunable nonlinearly chirped grating »). L'accordabilité de la dispersion est alors réalisée en translatant spectralement la bande réfléchive par rapport au signal à l'aide d'une méthode classique de variation de la longueur d'onde centrale d'un réseau de Bragg (traction

ou élévation de température uniforme). Comme dans ce cas la dispersion n'est pas constante sur la largeur de bande du signal, l'inconvénient majeur d'une telle méthode de compensation de dispersion est l'introduction de dispersion d'ordre supérieur : ceci induit
5 une augmentation significative de la pénalité en puissance induite par le composant.

PRESENTATION GENERALE DE L'INVENTION.

Un but général de l'invention est de fournir une correction de dispersion dont la valeur soit accordable sur une bande de longueurs
10 d'onde.

Ce but est atteint dans le cadre de la présente invention grâce à un procédé de réalisation d'un filtre optique qui met en œuvre les étapes consistant à opérer sur un guide optique

- un contrôle du profil évolutif intérieur du guide (c'est-à-dire le profil
15 extérieur de la partie guidante proprement dite, par exemple du cœur dans le cas d'une fibre optique) et
 - l'inscription d'un réseau de Bragg,
- selon des techniques qui permettent de contrôler de manière indépendante, la variation longitudinale de la longueur d'onde de Bragg
20 d'une part, et la variation longitudinale du profil extérieur du guide, d'autre part.

Selon un mode de réalisation avantageux, le contrôle du profil évolutif intérieur du guide est réalisé par fusion-étirage.

L'invention permet ainsi de réaliser, sur un guide optique, un
25 filtre accordable dont on peut contrôler l'évolution de la réponse spectrale par application d'une force mécanique externe, par exemple par traction, mais aussi par torsion, compression, ou tout autre moyen équivalent.

Le filtrage est préférentiellement de type réfléchissant.

30 Le réseau de Bragg est avantageusement inscrit après l'étape de contrôle du profil évolutif intérieur du guide optique.

Deux variantes principales sont proposées dans le cadre de la présente invention, pour mettre en œuvre le procédé précité.

Selon une première variante, l'étape de contrôle du profil évolutif intérieur du guide optique est réalisée dans des conditions permettant le contrôle de l'évolution longitudinale de l'indice optique effectif du guide, cette étape de contrôle du profil évolutif intérieur du guide est suivie
5 d'une étape consistant à corriger localement le profil extérieur du guide, et l'inscription du réseau de Bragg est réalisée dans des conditions permettant la maîtrise longitudinale de la longueur d'onde de Bragg.

Le cas échéant l'étape de correction de profil peut être réalisée avant ou après l'étape d'inscription du réseau de Bragg.

10 Selon une deuxième variante, l'étape de contrôle du profil évolutif intérieur du guide optique est réalisée dans des conditions permettant le contrôle de l'évolution longitudinale du profil extérieur du guide, et l'inscription du réseau de Bragg est réalisée avec contrôle de l'évolution longitudinale du pas du réseau pour permettre une maîtrise
15 de l'évolution longitudinale de la longueur d'onde de Bragg.

Selon une autre caractéristique avantageuse de la présente invention, le procédé consiste à adjoindre au guide optique comportant un filtre inscrit, un dispositif de commande et/ou de contrôle d'un effort mécanique appliqué, par exemple d'une traction.

20 D'une part, en combinant la maîtrise de l'évolution longitudinale de l'indice effectif par contrôle du profil évolutif intérieur du guide et celle de l'évolution longitudinale du pas du réseau par inscription, on contrôle l'évolution longitudinale de la longueur d'onde de Bragg du réseau dans les conditions de traction de l'inscription et donc la réponse
25 spectrale associée.

D'autre part, en combinant la maîtrise du profil extérieur du guide par contrôle du profil évolutif intérieur du guide et une éventuelle modification de ce profil après le contrôle du profil évolutif intérieur du guide, on assure de manière indépendante l'évolution de la réponse
30 spectrale lorsque la traction appliquée est modifiée.

Selon une autre caractéristique avantageuse de la présente invention, le procédé comprend en outre l'étape consistant à adjoindre

au guide optique des moyens permettant d'induire longitudinalement une variation préférentiellement uniforme de la longueur d'onde.

De tels moyens peuvent par exemple être adaptés pour contrôler la température du composant.

- 5 Ceci peut être obtenu par exemple grâce à une métallisation de sa surface, ou encore par insertion dans un micro-four, par exemple dans un capillaire, la métallisation ou le micro-four étant chauffé par effet Joule ou par conduction thermique.

- 10 Les moyens induisant une variation uniforme et contrôlée de la longueur d'onde permettent notamment de contrer l'effet de décalage de la longueur d'onde centrale du filtre résultant de l'application d'un effort mécanique, par exemple d'une traction.

- 15 La présente invention concerne également les guides optiques comportant un filtre inscrit réalisés par la mise en œuvre du procédé précité, ainsi que l'utilisation de ces guides.

D'autres caractéristiques, buts et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre, et en regard des dessins annexés, donnés à titre d'exemples non limitatifs et sur lesquels :

- 20 - la figure 1 représente différentes étapes successives de réalisation d'un guide comportant un filtre inscrit selon un premier mode de réalisation de la présente invention, plus précisément la figure 1a représente une étape de contrôle du profil évolutif intérieur du guide par fusion-étirage, la figure 1b représente une étape d'inscription d'un
25 réseau de Bragg, la figure 1c représente une étape de correction du profil extérieur par attaque graduelle, et la figure 1d représente une étape de métallisation,
 - la figure 2 représente schématiquement une étape de modification du profil extérieur par dépôt d'un matériau de propriété mécanique
30 analogue à celui constituant le guide, alternative de l'étape illustrée sur la figure 1c,
 - la figure 3 représente une vue schématique d'un guide optique contenu par la mise en œuvre d'un second mode de réalisation du

procédé conforme à la présente invention, par réalisation du profil extérieur souhaité lors de l'étape de contrôle du profil évolutif intérieur du guide par fusion-étirage et maîtrise de l'évolution longitudinale de la longueur d'onde de Bragg grâce à celle du pas du réseau,

- 5 - la figure 4 représente schématiquement la réalisation d'un compensateur de dispersion chromatique grâce au premier mode de réalisation du procédé précité, plus précisément, la figure 4a représente le rayon du guide en fonction de la position longitudinale, et la figure 4b représente l'indice effectif du guide en fonction de la position
- 10 longitudinale après mise en œuvre d'une étape de réalisation de contrôle du profil évolutif intérieur du guide par fusion-étirage du profil extérieur produisant une évolution linéaire de l'indice effectif, la figure 4c représente le rayon en fonction de la position longitudinale après mise en œuvre d'une étape de correction du profil extérieur pour obtenir le
- 15 profil souhaité pour l'accordabilité, la figure 4d représente le pas du réseau d'indice en fonction de la position longitudinale après l'étape d'inscription d'un réseau de Bragg dont le pas varie linéairement, et la figure 4e représente la longueur d'onde de Bragg en fonction de la position longitudinale issue de ces étapes et révèle une évolution linéaire
- 20 de la longueur d'onde de Bragg,
- la figure 5 représente schématiquement la réalisation d'un compensateur de dispersion chromatique par mise en œuvre du deuxième mode de réalisation du procédé conforme à la présente invention, plus précisément, la figure 5a représente le rayon du guide en
- 25 fonction de la position longitudinale à l'issue de l'étape de réalisation de contrôle du profil évolutif intérieur du guide par fusion-étirage du profil extérieur souhaité pour l'accordabilité, la figure 5b représente l'indice effectif optique du guide en fonction de la position longitudinale à l'issue de cette étape de contrôle du profil évolutif intérieur du guide par
- 30 fusion-étirage, l'indice effectif évoluant de manière non linéaire en fonction de la position longitudinale, la figure 5c représente le pas du réseau d'indice en fonction de la position longitudinale après l'étape d'inscription d'un réseau de Bragg dont le pas varie non linéairement de

- manière adaptée, et la figure 5d représente la longueur d'onde de Bragg en fonction de la position longitudinale et révèle là encore une évolution linéaire de la longueur de Bragg en fonction de la position longitudinale,
- la figure 6 met en évidence l'intérêt de la maîtrise du profil extérieur
- 5 dans le cas d'un compensateur de dispersion, plus précisément, la figure 6a représente en traits interrompus le rayon de la fibre en fonction de la position longitudinale dans le cas d'un profil non adapté linéaire et en traits continus le rayon de la fibre en fonction de la position longitudinale pour un profil adapté non linéaire, la figure 6b représente
- 10 la dispersion et le défaut moyen de linéarité du retard en fonction de l'écart à la traction initiale dans le cas d'un profil linéaire non adapté tandis que la figure 6c représente la dispersion et le défaut moyen de linéarité du retard en fonction de l'écart à la traction initiale pour un profil adapté non linéaire conforme à la présente invention,
- 15 - la figure 7 représente un exemple d'application de la maîtrise de l'évolution longitudinale de la modulation d'indice dans le cas d'un compensateur de dispersion et illustre respectivement en partie supérieure les caractéristiques spectrales (réflectivité et retard) à la traction initiale et les caractéristiques spectrales (réflectivité et retard)
- 20 après application d'une traction supplémentaire permettant d'inverser le signe de la dispersion,
- la figure 8 représente un exemple de mise en œuvre de chauffage par métallisation, plus précisément la figure 8a représente le rayon d'un guide en fonction de la position longitudinale, la figure 8b représente
- 25 une épaisseur de dépôt de métallisation et d'élévation de température résultante en fonction de la position longitudinale dans le cas d'une épaisseur de dépôt uniforme tandis que la figure 8c représente de manière similaire une épaisseur de dépôt de métallisation et l'élévation de température résultante en fonction de la position longitudinale dans
- 30 le cas d'une épaisseur de dépôt adaptée,
- la figure 9 représente un exemple de mise en œuvre de chauffage du guide conforme à la présente invention par insertion du composant dans un capillaire,

- la figure 10 illustre schématiquement un exemple de configuration de système intégrant un compensateur de dispersion conforme à la présente invention, comprenant un circulateur à trois ports, ainsi qu'une boucle de contre-réaction,
- 5 - la figure 11 représente un autre exemple de configuration de système intégrant l'invention par combinaison de deux filtres,
- la figure 12 représente un troisième exemple de configuration de système intégrant l'invention par mise en série de filtres associés à des bandes réfléchissantes différentes, et
- 10 - la figure 13 représente un quatrième exemple de configuration de systèmes intégrant l'invention par combinaison d'un circulateur trois ports et de plusieurs filtres grâce à un multiplexeur-démultiplexeur intercalé.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

- 15 Comme indiqué précédemment, pour l'essentiel, le procédé conforme à la présente invention consiste à opérer sur un guide optique 10 une opération de contrôle du profil évolutif intérieur du guide et d'inscription d'un réseau de Bragg selon des techniques qui permettent de contrôler de manière indépendante, la variation longitudinale de la
- 20 longueur d'onde de Bragg d'une part, et la variation longitudinale du profil extérieur du guide 10 d'autre part.

- Dans la suite du descriptif, on va décrire des exemples de réalisation conforme à la présente invention selon lesquels l'étape de contrôle du profil évolutif intérieur du guide est réalisée par fusion-
25 étirage.

De manière connue en soi, le guide optique 10 à la base de l'invention comprend un cœur 12 entouré d'une gaine 14.

- Plus précisément encore, de préférence, l'invention est réalisée à partir d'un guide optique 10 invariant par translation. Ce guide de base
30 10 est caractérisé par les propriétés opto-géométriques de sa section transverse : il peut s'agir d'une fibre optique « classique », d'une fibre à cristaux photoniques, d'un guide plan, etc.

On suppose que, à la longueur d'onde d'utilisation, l'évolution transverse de l'indice de réfraction permet la propagation de la lumière dans la direction longitudinale suivant un mode transverse déterminé. Le guide 10 est généralement conçu pour que ce mode soit unique. On note n_{eff} l'indice effectif du mode fondamental à la longueur d'onde d'utilisation.

Dans la structure du guide, la frontière avec le milieu extérieur détermine les limites de la section du guide. Dans toute la suite, on désigne le contour de cette section par le terme de « profil extérieur » du guide.

L'invention repose sur les éléments suivants qui résultent des études et investigations des inventeurs.

Le réseau de Bragg 20 inscrit permet le couplage du mode fondamental vers le mode fondamental contrapropagatif réalisant ainsi un filtre de Bragg réfléchif.

La longueur d'onde de résonance locale $\lambda_B(z)$, qualifiée communément de longueur d'onde de Bragg, est donnée par la relation suivante :

$$\lambda_B(z) = 2 n_{\text{eff}}(z) \Lambda(z) \quad (1)$$

où $n_{\text{eff}}(z)$ est l'indice effectif du mode fondamental à la position longitudinale z

et $\Lambda(z)$ est le pas du réseau à la même position z .

Le coefficient de couplage entre les deux modes est proportionnel à l'amplitude de la modulation d'indice et à l'intégrale de recouvrement entre les modes couplés et le profil transverse du réseau d'indice.

La réponse spectrale du filtre est alors complètement déterminée par l'évolution longitudinale de la longueur de Bragg et celle du coefficient de couplage.

L'invention propose des moyens permettant de combiner la maîtrise du procédé d'inscription du réseau ce qui permet un contrôle de

l'évolution longitudinale du pas et de l'amplitude de modulation, associée à celle de l'évolution de l'indice effectif par fusion-étirage pour obtenir la réponse spectrale souhaitée. En particulier, la maîtrise de l'évolution longitudinale de l'amplitude de modulation permet d'apodiser la réponse spectrale du filtre et/ou de réaliser des superstructures (du type réseau multicanaux).

Pour réaliser l'accordabilité du filtre, les inventeurs proposent de faire varier la traction mécanique appliquée par rapport à sa valeur lors de l'inscription du réseau 20.

Ceci peut être réalisé par différents moyens : moteur pas à pas, élément piézoélectrique, etc.

La modification de la traction appliquée induit une modification de la réponse spectrale du filtre car elle agit sur l'évolution longitudinale de la longueur de Bragg du réseau. Sous l'effet d'une traction, deux effets physiques contribuent à la variation de la longueur d'onde de Bragg : d'une part l'élongation physique du matériau qui modifie le pas, d'autre part l'effet photo-élastique qui modifie l'indice effectif. Ces deux effets sont proportionnels à la contrainte locale, de sorte que la variation de longueur d'onde de Bragg en fonction de la traction est inversement proportionnelle à la surface de la section locale du guide.

Plus précisément, en considérant que le guide est de composition essentiellement homogène, les inventeurs ont déterminé que l'on peut écrire la relation suivante :

$$\frac{d\lambda_B(z)}{dF} = \frac{(1 - p_e) \lambda_B(z)}{E S(z)} \quad (2)$$

où F est la traction appliquée

p_e est le coefficient photoélastique du matériau constituant le guide

E est le module d'Young de ce même matériau

et S(z) est la surface de la section du guide à la position longitudinale z.

L'application préférentielle de l'invention est la réalisation d'un compensateur de dispersion chromatique accordable.

La réponse spectrale souhaitée dans ce cas est caractérisée par une dispersion constante sur toute la bande réflective et dont la valeur
5 est accordable. Les inventeurs ont montré que, sous certaines conditions (dispersion en deçà d'une valeur maximale dépendant de la longueur du composant), cela est équivalent en première approximation à une évolution longitudinale linéaire de la longueur d'onde de Bragg.

Ainsi les inventeurs ont démontré que pour réaliser un
10 compensateur de dispersion accordable, il est souhaitable que l'évolution longitudinale de la longueur d'onde de Bragg soit linéaire quelle que soit la traction appliquée.

Or cette évolution est la somme de deux contributions qui sont donc préférentiellement linéaires: d'une part l'évolution initiale dans les
15 conditions de traction de l'inscription et d'autre part celle induite lorsque l'on fait varier la traction.

D'après l'équation (2), cette seconde contribution sera linéaire si l'évolution de la section du guide suivant z est de la forme suivante :

$$S(z) = \frac{S_0}{1 + pz}$$

20 où S_0 et p sont deux constantes.

Dans le cas d'une fibre optique classique de section circulaire, cela implique l'évolution longitudinale suivante du rayon de la fibre :

$$r(z) = \frac{r_0}{\sqrt{1 + pz}} \quad (\text{profil extérieur adapté}).$$

Comme indiqué précédemment, on a illustré sur la figure 1, de
25 manière schématique, les différentes étapes d'un procédé conforme à un premier mode de réalisation de la présente invention.

Sur la figure 1a, on a représenté sous la référence 11, en traits interrompus, le profil extérieur, de section transversale constante, du guide optique initial à la base de l'invention. Sur la même figure 1a, on a
30 représenté en 15 le profil extérieur du guide 10 obtenu après une étape

de fusion-étirage et en 13 le profil intérieur, d'évolution homothétique, du cœur 12.

L'étape de fusion-étirage conduit à faire varier longitudinalement et de manière homothétique la structure du guide 10. L'état actuel de la technique permet de réaliser le profil souhaité d'évolution longitudinale de la section du guide : un tel procédé est avantageusement décrit dans le brevet EP 0714861 « Procédé de fabrication de fibres étirées selon un profil déterminé ». La fusion-étirage induit ainsi une variation longitudinale contrôlée de la surface de la section du guide.

De plus, comme le guidage dépend des dimensions transverses du guide, la fusion-étirage induit également une variation longitudinale de l'indice effectif. Connaissant de préférence de manière expérimentale l'évolution de l'indice effectif suivant la section du guide, on fabrique ainsi un guide optique présentant l'évolution longitudinale souhaitée de l'indice effectif, à savoir linéaire ou non linéaire. Préférentiellement, l'évolution longitudinale du profil du guide respectera le critère dit d'adiabaticité qui assure qu'il n'y a pas de pertes par couplage du mode fondamental vers des modes d'ordre supérieur.

Comme on le voit sur la figure 1a et comme illustré sur les figures 4a et 4b, selon le premier mode de réalisation de la présente invention, l'étape de fusion-étirage est contrôlée pour définir, à l'issue de celle-ci, un profil extérieur 15 d'évolution adapté (voir figure 4a) pour obtenir une évolution de l'indice effectif optique linéaire en fonction de la position longitudinale (figure 4b).

La réalisation de l'invention comporte ensuite une étape d'inscription d'un réseau de Bragg 20 dans le guide étiré (voir figure 1b). Pour réaliser ce réseau de Bragg 20, une solution connue en soi consiste à doper le guide 10 avec un matériau photosensible puis à l'irradier par exemple au moyen d'un champ de franges ultraviolettes créé par un dispositif interférométrique, ou alternativement par un masque de phase approprié.

Le pas du réseau d'indice 20 peut être à priori variable. Dans le cadre du premier mode de réalisation pour lequel l'indice effectif évolue

linéairement en fonction de la position longitudinale à l'issue de l'étape de fusion-étirage, le pas du réseau d'indice 20 peut être constant ou variant linéairement comme illustré sur la figure 4b.

Comme illustré sur la figure 1c, pour maîtriser l'évolution
5 longitudinale de la section du guide et donc contrôler l'évolution de la réponse spectrale avec la traction, on procède après l'étape de fusion-étirage illustrée sur la figure 1a à une correction locale du profil extérieur 15 du guide étiré. Cette étape de correction est opérée sans modification de l'évolution longitudinale du profil d'indice. On a ainsi
10 illustré sur la figure 1c une étape de correction qui consiste à corriger par retrait le profil extérieur 15 du guide. Une telle correction peut être opérée par attaque graduelle le long du guide par voie chimique. A titre d'exemple non limitatif, une telle étape de correction peut être réalisée par exemple par gravure par immersion dans un bain d'acide
15 fluorhydrique.

En variante, comme on l'a schématisé sur la figure 2, cette étape de correction du profil extérieur peut être opérée par ajout d'un matériau de propriété mécanique analogue à celui constituant le guide. Sur la figure 2, on a ainsi référencé 16 le profil extérieur du guide après ajout
20 du matériau requis.

Sur la figure 1c, on a référencé 16 le profil extérieur du guide après réalisation de l'étape de correction. Le rayon du guide obtenu après cette étape de correction, en fonction de la position longitudinale est illustré sur la figure 4c. De même, le pas du réseau 20 d'indice
25 évoluant linéairement en fonction de la position longitudinale est schématisé sur la figure 4d. La combinaison de l'évolution linéaire de l'indice effectif illustré sur la figure 4b et du pas du réseau d'indice illustré sur la figure 4d, permet d'obtenir une évolution linéaire de la longueur d'onde de Bragg comme illustré sur la figure 4e.

30 On va maintenant évoquer le second mode de réalisation conforme à la présente invention en regard des figures 3 et 5.

Contrairement au premier mode de réalisation précédemment décrit en regard des figures 1 et 2 qui consiste à réaliser l'opération de

fusion-étirage pour obtenir une évolution préférentiellement de l'indice effectif, dans le cadre du second mode de réalisation, comme représenté sur les figures 3 et 5a, l'opération de fusion-étirage est réalisée pour obtenir l'évolution longitudinale souhaitée de la section du guide. Là
5 encore, cette évolution est déterminée pour contrôler l'évolution spectrale avec la traction.

Ainsi, à l'issue de cette étape de fusion-étirage, comme illustré sur la figure 5b, on obtient une évolution longitudinale non linéaire de l'indice effectif.

10 Dans ce contexte, comme on le voit sur la figure 3 et sur la figure 5c, l'inscription du réseau de Bragg 20 est réalisée avec une évolution non linéaire du pas du réseau de sorte que la combinaison des évolutions non linéaires de l'indice effectif (figure 5b) et du pas de réseau d'indice (figure 5c) conduise là encore à une évolution linéaire de
15 la longueur d'onde de Bragg en fonction de la position longitudinale (figure 5d).

Sur la figure 3, on a également représenté en 18 un dépôt métallique préférentiel réalisé sur la surface extérieure du guide pour permettre un ajustement de la valeur de la longueur centrale du filtre
20 par contrôle de température.

Pour ajuster la valeur de la longueur d'onde centrale du filtre, l'invention préconise l'application d'une élévation de température uniforme. Ce recalage en longueur d'onde est en particulier nécessaire lorsqu'on accorde comme indiqué précédemment la réponse spectrale
25 du composant car la traction induit une variation de la longueur d'onde centrale du filtre. Ce recalage peut être également nécessaire pour obtenir l'athermicité du composant c'est à dire la conservation de ses performances optiques quelle que soit la valeur de la température extérieure dans la gamme spécifiée d'utilisation du composant.

30 A ces fins, l'invention propose de réaliser sur la surface 15 du guide 10 étiré un dépôt métallique 18 d'épaisseur adaptée suivant la taille de la section.

Ce dépôt peut être composé de l'empilement de couches métalliques de nature différente.

Lorsque cette métallisation est traversée par un courant électrique, il y a conversion par effet Joule de la puissance électrique en
5 puissance thermique contribuant à chauffer le guide.

Pour obtenir une élévation de température uniforme, on peut montrer que l'évolution longitudinale de l'épaisseur du dépôt métallique doit être inversement proportionnelle à celle de la surface du guide.

On aperçoit en effet sur la figure 8b que pour une évolution
10 linéaire du rayon du guide étiré, en fonction de la position longitudinale, l'élévation de température (courbe e1 sur la figure 8b) est non linéaire pour une épaisseur de dépôt uniforme (courbe e2 sur la figure 8b). Au contraire, on voit sur la figure 8c que pour une évolution non linéaire de l'épaisseur de dépôt (courbe e3 sur la figure 8c), on obtient une
15 évolution de température linéaire en fonction de la position longitudinale (courbe e4 sur la figure 8c).

La figure 8 illustre ainsi la nécessité d'adapter l'épaisseur de la métallisation pour obtenir une élévation de température uniforme dans le cas d'un guide dont la dimension de la section transverse varie
20 longitudinalement. Pour cet exemple le guide est un taper linéaire : pour la même puissance électrique fournie ($P = 126$ mW pour une longueur métallisé de 4 cm), la température varie le long du guide de 50 à plus de 100 °C lorsque l'épaisseur déposé est uniforme alors qu'elle est constante égale à 75 °C dans le cas d'une épaisseur adaptée.

25 Selon une variante, la métallisation peut être chauffée par conduction thermique.

Selon une variante applicable au cas où le guide 10 est une fibre optique, l'élévation de température uniforme peut être obtenue en insérant la fibre 10 dans un tube 30 que l'on chauffe afin de réaliser un
30 micro-four. Une telle variante est illustrée sur la figure 9. Ce tube 30, de diamètre intérieur légèrement supérieur au diamètre maximale de la fibre, peut être soit un capillaire de silice métallisé (dépôt d'épaisseur

uniforme dans ce cas) soit constitué directement d'un matériau conducteur comme le graphite.

Sur la figure 9, on a schématisé en 32 une alimentation électrique adaptée pour appliquer un courant électrique contrôlé aux bornes d'un capillaire 30.

Là encore, le capillaire ou micro-four peut être chauffé non pas par effet Joule mais par conduction thermique.

Dans toute la description précédente, on a supposé implicitement que le guide 10 n'est pas biréfringent. Dans le cas contraire, il existe un décalage spectral entre les réponses en réflexion correspondant aux deux états principaux de polarisation. Cela induit en particulier une dispersion des modes de polarisation (communément dénommée « PMD ») préjudiciable à la qualité de la transmission optique. Il est donc généralement souhaitable de minimiser la biréfringence du guide optique, qu'elle soit intrinsèque ou induite par les processus de fabrication du composant (fusion étirage, inscription du réseau de Bragg). Cependant, un guide biréfringent (du type fibre à maintien de polarisation) peut être envisagé pour utiliser le composant en tant que compensateur de PMD. Typiquement le guide possède à cet effet une biréfringence $\Delta n \geq 10^{-5}$.

L'invention peut être mise en œuvre à partir de tout guide optique approprié apte à subir une opération de fusion-étirage et apte à recevoir un réseau de Bragg.

Elle est de préférence réalisée à partir d'une fibre optique.

Considérons une fibre optique dont on peut distinguer trois régions : un cœur dopé, une gaine interne dopée et une gaine externe silice.

Pour réaliser le réseau de Bragg sur fibre étirée, l'invention propose une fibre à gaine photosensible étendue. Il est connu de l'art antérieur, notamment par le document « Optical fiber design for strong gratings photoimprinting with radiation mode suppression » Proc. OFC'95 26 Fév.-3 Mars 1995 pp.343-346, que l'on peut supprimer les

pertes de couplage aux modes de gaine en introduisant par un dopage approprié une gaine optique dont la photosensibilité égale celle du cœur.

Comme le rapport entre la taille du mode guidé et le rayon du cœur augmente quand celui-ci diminue, il apparaît souhaitable que le
5 ratio entre le rayon de la gaine photosensible r_g et celui du cœur r_c soit suffisamment grand pour que la suppression du couplage aux modes de gaine soit également efficace sur toute la longueur de la fibre étirée, en particulier aux petits diamètres.

Typiquement, $r_g \geq 3.r_c$ permet d'obtenir ce résultat pour une
10 évolution du diamètre de la fibre de 125 à 90 μm .

Pour renforcer la résistance mécanique de la fibre étirée, l'invention propose une fibre à gaine silice étendue. La traction maximale avant rupture étant proportionnelle à la section, il est
souhaitable d'augmenter le rayon de la gaine silice tout en conservant le
15 même profil d'indice pour réduire le risque de casse au niveau de la petite section de la fibre après fusion étirage.

Les tests conduits par les inventeurs ont montré que la présente invention offre de nombreux avantages par rapport à la technique antérieure, grâce au contrôle indépendant des profils intérieurs et
20 extérieurs de la gaine de la fibre..

Concernant la maîtrise du profil extérieur en particulier, les différentes solutions proposées précédemment ne mettaient pas en œuvre une opération de fusion-étirage : elles consistaient, à partir d'une fibre standard, soit à faire un dépôt d'épaisseur variable soit à faire une
25 attaque chimique graduelle. L'inconvénient de ces solutions est que d'une part la réalisation de ces variations graduelles d'épaisseur n'est pas un problème technologique simple et que d'autre part la variation d'épaisseur maximale est grande donc a priori plus difficile à contrôler. Par contre, comme on l'a noté précédemment, la fusion-étirage permet
30 une maîtrise simple et précise de l'évolution longitudinale de la forme du guide.

La figure 6 montre tout l'intérêt d'avoir un profil extérieur adapté, toujours dans le cas d'un compensateur de dispersion

chromatique accordable. Comme on le voit sur la figure 6b, lorsque le profil extérieur n'est pas adapté (c'est-à-dire correspond par exemple à une évolution linéaire du rayon), la gamme d'accordabilité est limitée par l'apparition de dispersion d'ordre supérieur : la dispersion n'est plus
5 constante dans la bande utile du signal ce qui induit une distorsion préjudiciable pour la qualité de la transmission. Dans le cas contraire obtenu selon l'invention, on obtient une gamme d'accordabilité étendue comme on le voit sur la figure 6c. Il est en particulier possible d'inverser le signe de la compensation de dispersion.

10 Des applications spécifiques peuvent être envisagées pour une compensation de dispersion positive et négative.

La figure 7 illustre des possibilités supplémentaires offertes par la maîtrise de l'évolution longitudinale de la modulation d'indice lors de l'inscription du réseau de Bragg.

15 D'une part, en réduisant progressivement l'amplitude de modulation sur les bords du réseau, on peut réaliser une apodisation de la réponse spectrale ainsi qu'une réduction de l'amplitude des ondulations de la courbe de retard.

20 D'autre part, en effectuant une sur-modulation de la modulation d'indice, il est possible de créer plusieurs bandes réfléchives.

Le compensateur de dispersion conforme à la présente invention permet de traiter simultanément plusieurs canaux de longueurs d'onde différentes, et donc de minimiser le nombre de compensateurs à utiliser.

25 La figure 7 illustre une autre application dans le cas d'un compensateur de dispersion accordable : on a inscrit un réseau de Bragg générant deux bandes réfléchives dont l'écart spectral correspond au décalage produit par la traction supplémentaire nécessaire pour inverser le signe de dispersion, on utilise alors une bande réfléchive différente suivant le signe de la dispersion à compenser.

30 Plus précisément encore sur la figure 7, on a référencé r_1 la courbe de réflectivité obtenue à la traction initiale d'inscription du réseau de Bragg et r_2 la courbe de retard obtenue à cette traction initiale. On notera que la courbe r_1 comprend deux bandes séparées r_{11}

et r_{12} , la bande r_{12} étant centrée sur une longueur d'onde λ_s qui correspond à la longueur d'onde du signal utile.

Sur la même figure 7, on a référencé r_3 la courbe de réflectivité obtenue après application d'une traction contrôlée supplémentaire
5 permettant d'inverser le signe de la dispersion. La courbe correspondante de retard est référencée r_4 . On notera que la courbe r_3 comprend deux bandes séparées r_{31} et r_{32} respectivement identiques aux bandes r_{11} et r_{21} . Cependant ici la bande r_{31} est centrée sur la même longueur d'onde λ_s que la bande r_{12} .

10 Ainsi, l'invention permet tout en travaillant à la longueur d'onde λ_s , de passer de la bande r_{31} à la bande r_{12} et inversement, selon qu'une traction additionnelle est ou non appliquée et permet ainsi d'inverser ou non le signe de la compensation.

La présente invention peut être exploitée dans de nombreuses
15 configurations de systèmes.

Certaines non limitatives vont maintenant être évoquées.

Dans sa réalisation de filtre en réflexion, le composant F peut être associé à un séparateur, tel qu'un circulateur à trois ports, ou un filtre, pour extraire le signal en sortie. Pour filtrer de manière
20 indépendante plusieurs canaux ou sous-bandes, une solution consiste à intercaler un multipleur-démultipleur entre le circulateur et les composants associés à chaque canal ou sous-bande.

Pour réaliser une accordabilité dynamique, la mesure de la qualité du signal transmis associé à celle des conditions extérieures
25 permet de rétroagir sur les commandes en traction et en température afin de maintenir des performances de filtrage optimales.

Il peut être intéressant de combiner un filtre fixe et un filtre accordable (voire deux filtres accordables). On utilisera par exemple dans ce cas un circulateur quatre ports ou de manière équivalente deux
30 circulateurs trois ports en série.

Dans toutes les configurations précédentes, chaque filtre peut être remplacé par une association en série de filtres correspondant à des bandes réfléchies différentes.

Sur la figure 10 on aperçoit un système qui comprend un circulateur 100 à trois ports. Celui-ci reçoit sur son entrée le signal provenant d'une ligne de transmission dispersive 102. Son port intermédiaire est relié à l'entrée d'un filtre accordable F conforme à l'invention. Une boucle de réaction comprend un dispositif de mesure 104 sensible à la réponse du filtre F, et un module 108 commandé par le dispositif 104 pour contrôler la traction et la température du filtre F. Cette configuration permet de récupérer un signal filtré sur la sortie du circulateur trois ports 100.

10 Sur la figure 11, on aperçoit un système qui comprend un circulateur 110 à quatre ports. Celui-ci reçoit un signal sur son entrée. Deux filtres fixes ou accordables F1, F2 sont reliés respectivement sur ses ports intermédiaires. Le signal filtré est récupéré sur la sortie du circulateur 110.

15 Le circulateur 110 à quatre ports représenté sur la figure 11 peut être remplacé de manière équivalente par deux circulateurs trois ports en série. Dans ce cas, le premier circulateur à trois ports reçoit le signal sur son entrée, son port intermédiaire est relié au filtre F1, sa sortie est reliée à l'entrée du deuxième circulateur. Ce dernier a son port intermédiaire relié au filtre F2 et le signal de sortie filtré est disponible sur la sortie du second circulateur.

20 Sur la figure 12, on aperçoit un système qui comprend un circulateur 120 à trois ports. Celui-ci reçoit un signal sur son entrée. Des filtres conformes à la présente invention référencés filtre 1, filtre 2 ... filtre n sur la figure 12, sont connectés en série sur le port intermédiaire du circulateur 120. Le signal filtré est récupéré sur la sortie du circulateur 120.

30 On aperçoit sur la figure 13, un système qui comprend un circulateur 130 à trois ports. Celui-ci reçoit un signal multi-longueur d'ondes λ_1 à λ_n sur son entrée. Son port intermédiaire est relié à un démultiplexeur-multiplexeur 131. Les sorties de ce dernier sur lesquelles sont disponibles les différentes longueurs d'ondes λ_1 à λ_n sont reliées à des filtres respectifs référencés filtre 1, filtre 2 ... filtre n sur la figure 13.

Le signal filtré multi-longueurs d'ondes λ_1 à λ_n est disponible sur la sortie du circulateur 130.

Bien entendu la présente invention n'est pas limitée aux modes de réalisation particuliers qui viennent d'être décrits mais s'étend à
5 toute variante conforme à son esprit.

En particulier, la présente invention n'est pas limitée aux applications spécifiques qui ont été précédemment décrites.

Elle s'applique à toutes applications compatibles et notamment par exemple à la réalisation d'un filtre à réflectivité variable servant de
10 miroir accordable dans un laser type Raman.

Par ailleurs, l'étape de contrôle du profil évolutif intérieur du guide par fusion-étirage peut être remplacée par tout moyen équivalent par exemple par attaque chimique combinée à une diffusion ou tout moyen équivalent.

15

REVENDICATIONS

1. Procédé de réalisation d'un filtre optique caractérisé par le fait qu'il comprend les étapes consistant à opérer sur un guide optique (10):
- 5 - un contrôle du profil évolutif intérieur du guide et
- l'inscription d'un réseau de Bragg (20),
selon des techniques qui permettent de contrôler de manière indépendante la variation longitudinale de la longueur d'onde de Bragg d'une part, et la variation longitudinale du profil extérieur du guide
- 10 d'autre part.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que l'étape de contrôle du profil évolutif intérieur du guide est réalisée par fusion-étirage.
3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé par
- 15 le fait qu'il comprend en outre l'étape consistant à adjoindre au guide optique comportant un filtre inscrit un dispositif de commande ou de contrôle d'un effort mécanique appliqué.
4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé par le fait qu'il comprend l'étape consistant à adjoindre au guide optique, un moyen
- 20 apte à appliquer une traction contrôlée.
5. Procédé selon la revendication 3, caractérisé par le fait qu'il comprend l'étape consistant à adjoindre au guide optique, un moyen apte à appliquer une torsion contrôlée.
6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé par
- 25 le fait que l'étape de contrôle du profil évolutif intérieur du guide optique (10) est adaptée pour contrôler l'évolution longitudinale de l'indice optique effectif du guide.
7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé par le fait que l'étape de contrôle du profil évolutif intérieur du guide
- 30 optique est réalisée dans des conditions permettant le contrôle de l'évolution longitudinale de l'indice optique effectif du guide, cette étape de contrôle du profil évolutif intérieur du guide étant suivie d'une étape consistant à corriger localement le profil extérieur du guide et

l'inscription du réseau de Bragg est réalisée dans des conditions permettant la maîtrise longitudinale de la longueur d'onde de Bragg.

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé par le fait que l'étape d'inscription du réseau de Bragg consiste à réaliser un réseau à pas constant ou linéaire.

9. Procédé selon l'une des revendications 7 ou 8, caractérisé par le fait que l'étape de correction du profil extérieur du guide est réalisée avant l'étape d'inscription du réseau de Bragg.

10. Procédé selon l'une des revendications 7 ou 8, caractérisé par le fait que l'étape de correction du profil extérieur du guide est réalisée après l'étape d'inscription du réseau de Bragg.

11. Procédé selon l'une des revendications 7 à 10, caractérisé par le fait que l'étape de correction consiste à retirer de la matière sur le profil extérieur du guide.

12. Procédé selon l'une des revendications 7 à 10, caractérisé par le fait que l'étape de correction du profil extérieur consiste à ajouter de la matière sur le profil extérieur obtenu après l'étape de contrôle du profil évolutif intérieur du guide.

13. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé par le fait que l'étape de contrôle du profil évolutif intérieur du guide est adaptée pour contrôler le profil extérieur souhaité.

14. Procédé selon la revendication 13, caractérisé par le fait que l'étape de contrôle du profil évolutif intérieur du guide optique est réalisée dans des conditions permettant le contrôle de l'évolution longitudinale du profil extérieur du guide, et l'inscription du réseau de Bragg est réalisée avec contrôle de l'évolution longitudinale du pas du réseau pour permettre une maîtrise de l'évolution longitudinale de la longueur d'onde de Bragg.

15. Procédé selon l'une des revendications 7 à 14, caractérisé par le fait que l'étape d'inscription du réseau de Bragg est adaptée pour définir un pas variable.

16. Procédé selon l'une des revendications 1 à 15, caractérisé par le fait que les étapes de contrôle du profil évolutif intérieur du guide

et d'inscription de réseau de Bragg sont adaptées pour définir une variation longitudinale linéaire de la longueur d'onde de Bragg.

17. Procédé selon l'une des revendications 1 à 16, caractérisé par le fait que les étapes de conformation du profil extérieur du guide
5 sont adaptées pour définir une évolution non linéaire de ce profil extérieur.

18. Procédé selon la revendication 15, caractérisé par le fait que les étapes de conformation du profil extérieur du guide sont adaptées pour définir un profil extérieur dont la section suit la relation :

10
$$S(z) = \frac{S_0}{1 + p \cdot z}$$

dans laquelle S_0 et p désignent des constantes, tandis que z définit l'axe longitudinal.

19. Procédé selon l'une des revendications 1 à 18, caractérisé par le fait qu'il comprend en outre l'étape consistant à adjoindre au
15 guide optique des moyens permettant d'induire longitudinalement une variation uniforme de la longueur d'onde.

20. Procédé selon la revendication 19, caractérisé par le fait qu'il consiste à adjoindre au guide optique des moyens adaptés pour contrôler la température du composant.

20 21. Procédé selon l'une des revendications 19 ou 20, caractérisé par le fait qu'il comprend en outre l'étape consistant à déposer un matériau électriquement ou thermiquement conducteur, par exemple une métallisation sur la surface extérieure du guide.

22. Procédé selon la revendication 21, caractérisé par le fait
25 que l'épaisseur du dépôt de matériau conducteur est non uniforme.

23. Procédé selon la revendication 22, caractérisé par le fait que la variation longitudinale de l'épaisseur de dépôt est inversement proportionnelle à la section du guide.

24. Procédé selon l'une des revendications 19 ou 20, caractérisé
30 par le fait qu'il consiste à disposer le guide dans un micro-four.

25. Procédé selon l'une des revendications 1 à 24, caractérisé par le fait que le réseau de Bragg (20) est inscrit après l'opération de contrôle du profil évolutif intérieur du guide.

26. Procédé selon l'une des revendications 1 à 25, caractérisé par le fait que le guide optique est une fibre optique.

27. Procédé selon l'une des revendications 1 à 26, caractérisé par le fait que le guide est une fibre optique dont on peut distinguer trois régions : un cœur dopé, une gaine interne dopée et une gaine externe silice.

28. Procédé selon l'une des revendications 1 à 27, caractérisé par le fait qu'il est adapté pour permettre une inversion de signe de compensation en fonction d'un effort mécanique appliqué.

29. Procédé selon l'une des revendications 1 à 28, caractérisé par le fait que l'étape d'inscription du réseau de Bragg comporte un contrôle de l'amplitude de modulation de l'indice lors de l'inscription.

30. Procédé selon la revendication 29, caractérisé par le fait qu'il consiste à réduire progressivement l'amplitude de modulation sur les bords du réseau pour réaliser une apodisation de la réponse spectrale.

31. Procédé selon la revendication 29, caractérisé par le fait qu'il consiste à effectuer une surmodulation de la modulation d'indice pour créer plusieurs bandes réfléchives.

32. Procédé selon l'une des revendications 1 à 31, caractérisé par le fait qu'il consiste à inscrire un réseau de Bragg générant deux bandes réfléchives dont l'écart spectral correspond au décalage produit par un effort nécessaire pour inverser le signe de dispersion.

33. Filtre obtenu par la mise en œuvre du procédé conforme à l'une des revendications 1 à 32.

34. Filtre selon la revendication 33, caractérisé par le fait qu'il comporte un guide optique réalisé tout ou partie par contrôle du profil évolutif intérieur du guide comportant un réseau de Bragg et tel que la variation longitudinale de la longueur d'onde de Bragg et celle du profil extérieur soient contrôlées de manière indépendante.

35. Filtre selon la revendication 34, caractérisé par le fait que le guide optique est réalisé tout ou partie par fusion-étirage.

36. Filtre selon l'une des revendications 33 ou 35, caractérisé par le fait qu'il constitue un composant réflectif.

5 **37.** Filtre selon l'une des revendications 33 à 36, caractérisé par le fait que son profil extérieur est obtenu par modification du profil obtenu après l'étape de contrôle du profil évolutif intérieur du guide.

10 **38.** Filtre selon l'une des revendications 33 à 36, caractérisé par le fait que son profil extérieur est obtenu par contrôle du profil évolutif intérieur du guide.

39. Filtre selon la revendication 37, caractérisé par le fait que le réseau de Bragg a un pas constant ou linéaire.

40. Filtre selon l'une des revendications 37 ou 38, caractérisé par le fait que le réseau de Bragg a un pas variable.

15 **41.** Filtre selon l'une des revendications 33 à 40, caractérisé par le fait que la variation longitudinale de la longueur d'onde de Bragg est linéaire.

42. Filtre selon l'une des revendications 33 à 41, caractérisé par le fait qu'il comprend des moyens de contrôle de température.

20 **43.** Filtre selon l'une des revendications 33 à 42, caractérisé par le fait qu'il comprend un dépôt d'un matériau électriquement ou thermiquement conducteur, par exemple un dépôt métallique.

44. Filtre selon l'une des revendications 33 à 42, caractérisé par le fait qu'il est disposé dans un micro-four.

25 **45.** Filtre selon l'une des revendications 33 à 44, caractérisé par le fait que le guide est réalisé en matériau biréfringent.

46. Filtre selon la revendication 45, caractérisé par le fait que le guide possède une biréfringence $\Delta n \geq 10^{-5}$.

30 **47.** Filtre selon l'une des revendications 33 à 46, caractérisé par le fait que les photosensibilités du cœur et de la gaine interne du guide sont voisines et que le rayon de la gaine interne est supérieur à trois fois celui du cœur.

48. Filtre selon l'une des revendications 33 à 47, caractérisé par le fait que le guide est formé d'une fibre à gaine silice étendue.

49. Filtre selon l'une des revendications 33 à 48, caractérisé par le fait qu'il comprend un moyen d'application d'effort à base de cellules
5 piézo-électriques.

50. Filtre selon l'une des revendications 33 à 48, caractérisé par le fait qu'il comprend des moyens d'application d'effort à base de moteur pas à pas.

51. Filtre selon l'une des revendications 33 à 50, caractérisé par
10 le fait qu'il comprend un moyen de mesure des propriétés optiques du composant ou de la qualité de la transmission permettant de rétro-agir sur une commande d'effort.

52. Système comprenant un filtre conforme à l'une des revendications 33 à 51 et un moyen d'application d'effort mécanique
15 contrôlé sur celui-ci.

53. Système selon la revendication 52, caractérisé par le fait qu'il comprend un séparateur (100) tel qu'un circulateur à trois ports, associé à un filtre pour extraire le signal en sortie.

54. Système selon la revendication 52, caractérisé par le fait
20 qu'il comprend un multiplexeur-démultiplexeur (131) associé à plusieurs filtres pour filtrer de manière indépendante plusieurs canaux ou sous-bandes.

55. Système selon la revendication 52, caractérisé par le fait qu'il comprend au moins deux filtres dont l'un au moins de préférence
25 accordable.

56. Système selon la revendication 55, caractérisé par le fait qu'il comprend un circulateur à quatre ports dont les deux ports intermédiaires sont reliés à des filtres respectifs (F1, F2).

57. Système selon la revendication 55, caractérisé par le fait
30 qu'il comprend deux circulateurs à trois ports, dont les ports intermédiaires sont reliés à des filtres respectifs (F1, F2), la sortie du premier circulateur étant reliée à l'entrée du second.

58. Système selon la revendication 52, caractérisé par le fait qu'il comprend plusieurs filtres en série.

59. Système selon l'une des revendications 52 à 58, caractérisé par le fait qu'il comprend un moyen de mesure des propriétés optiques
5 du composant ou de la qualité de la transmission (104, 106, 108) permettant de rétro-agir sur la commande d'effort.

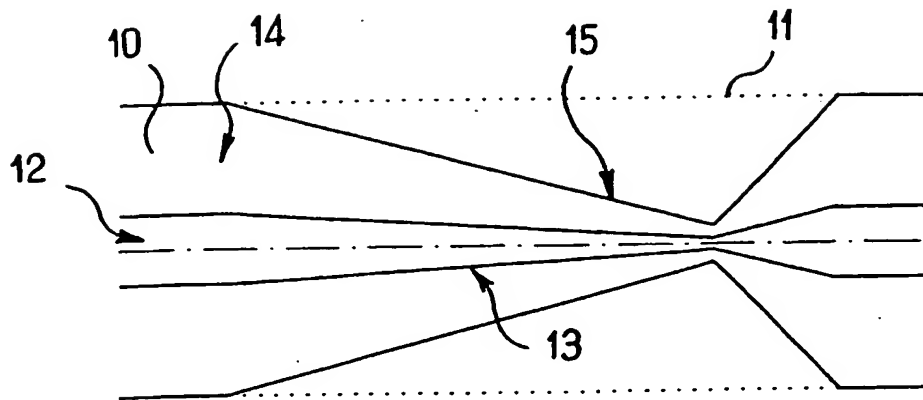


FIG. 1a

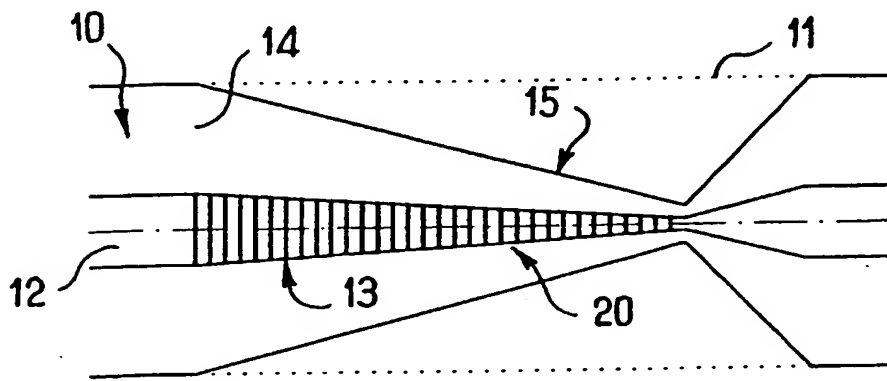


FIG. 1b

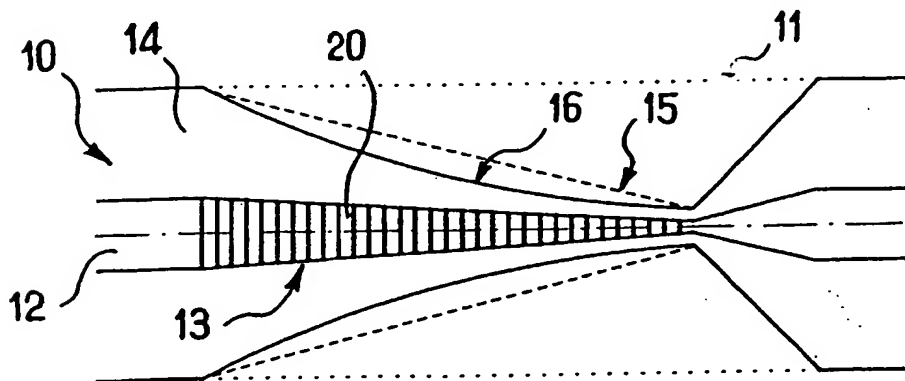


FIG. 1c

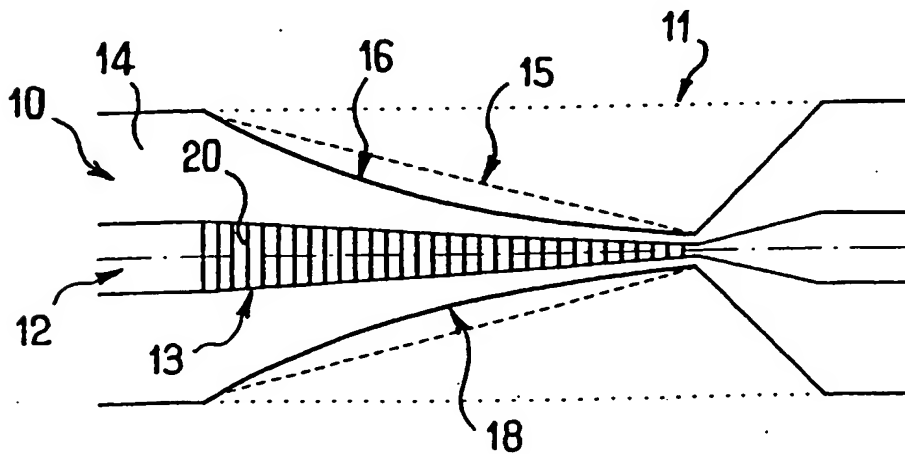


FIG. 1d

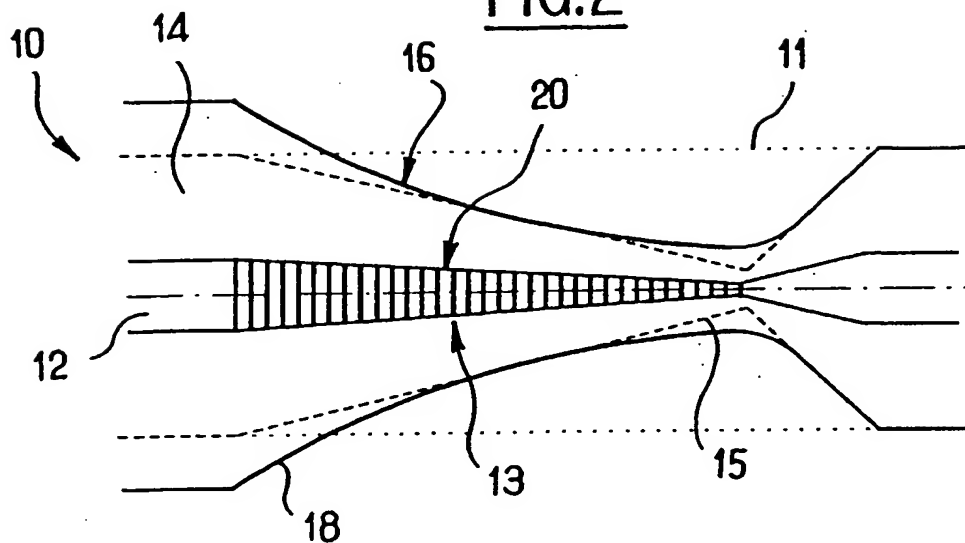
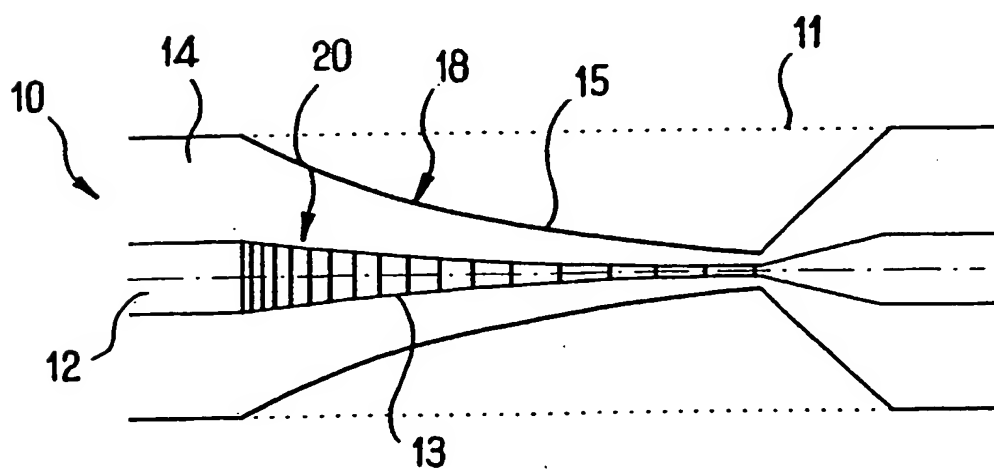
FIG.2FIG.3

FIG.4a

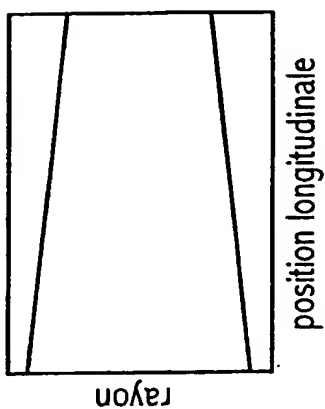


FIG.4b

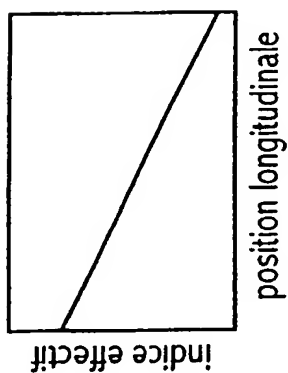


FIG.4c

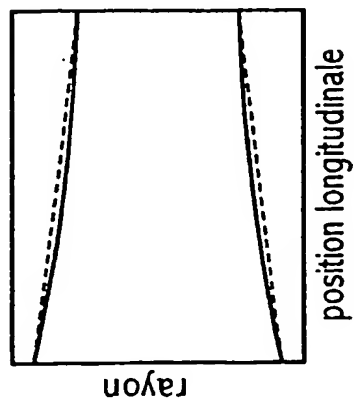


FIG.4d

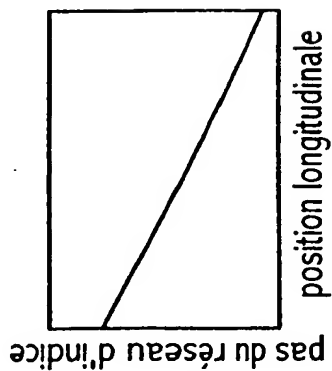


FIG.4

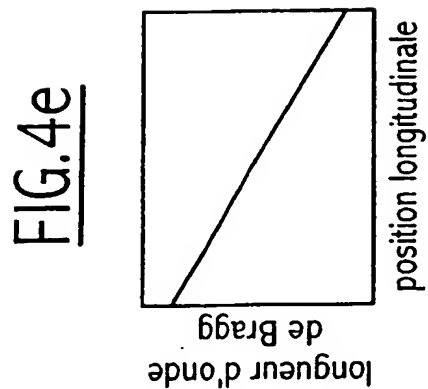


FIG.4e

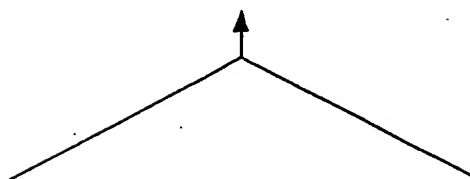


FIG.5a

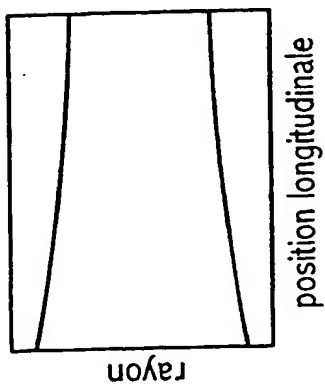


FIG.5b

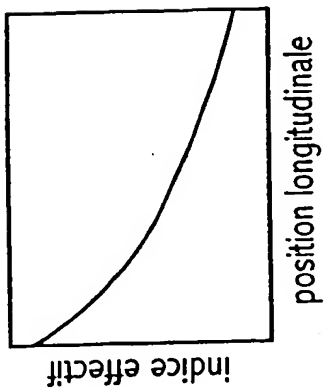


FIG.5c

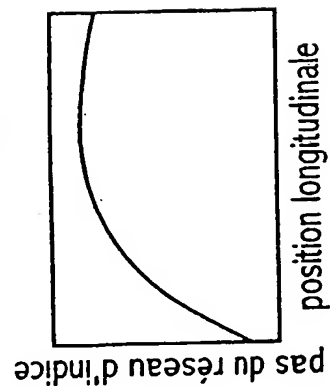


FIG.5

FIG.5d

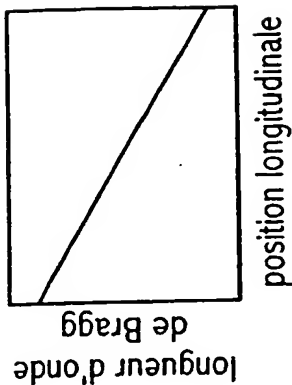


FIG.6

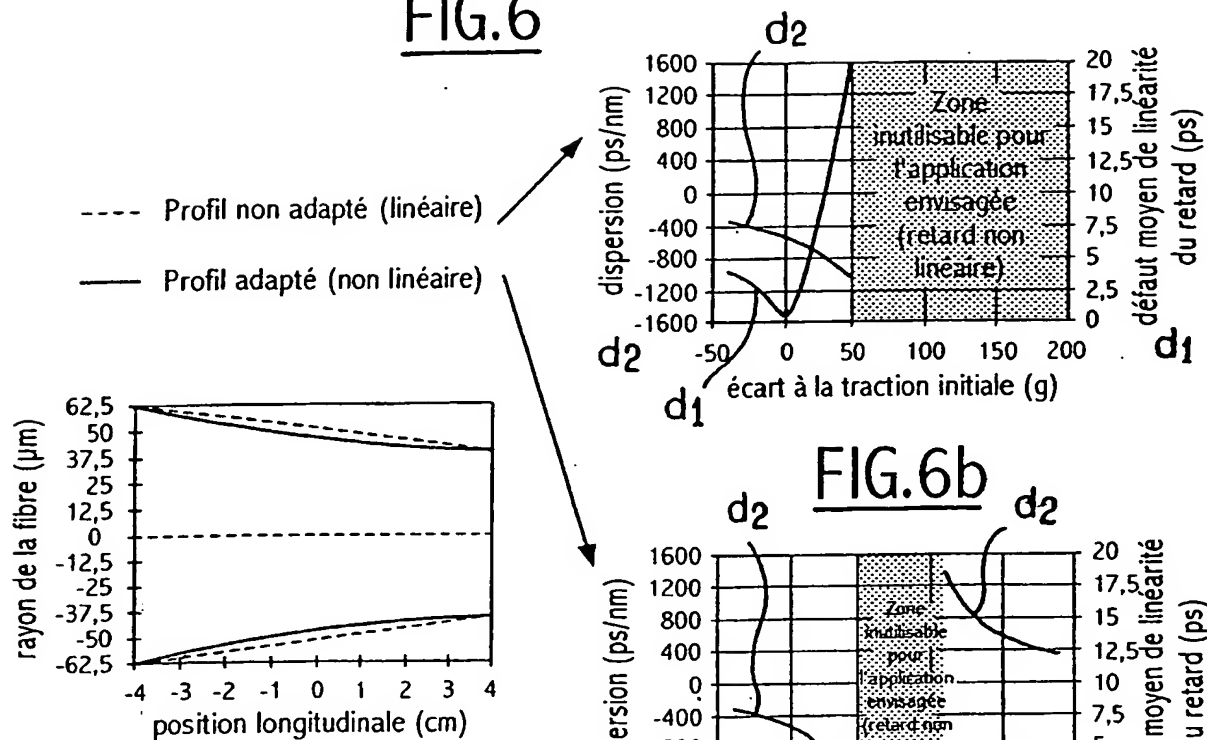


FIG.6a

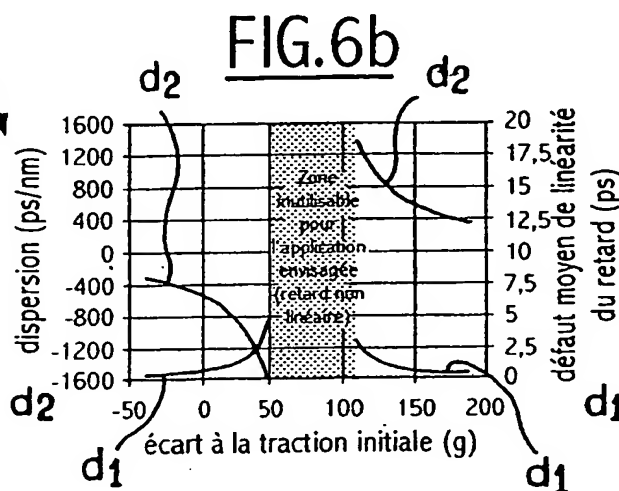
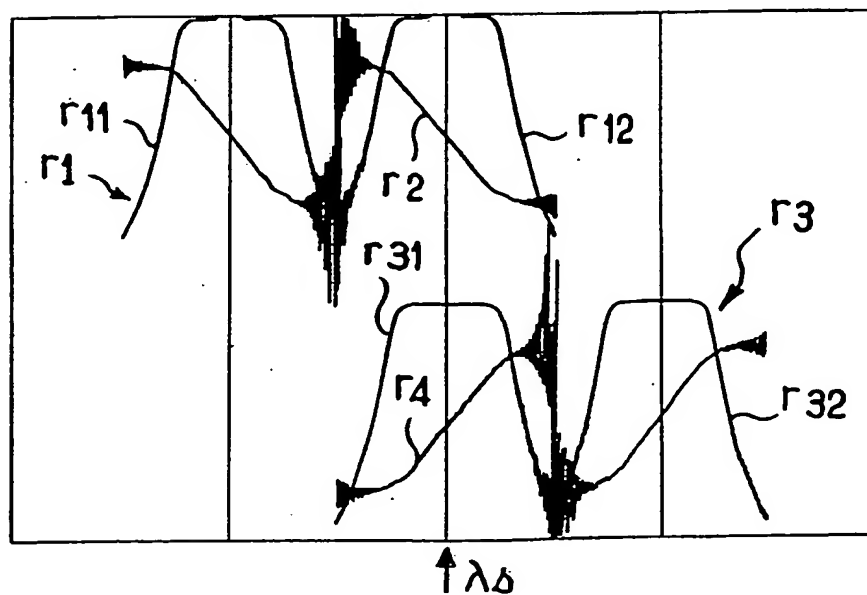


FIG.6c

FIG.7



6 / 8

10/511565

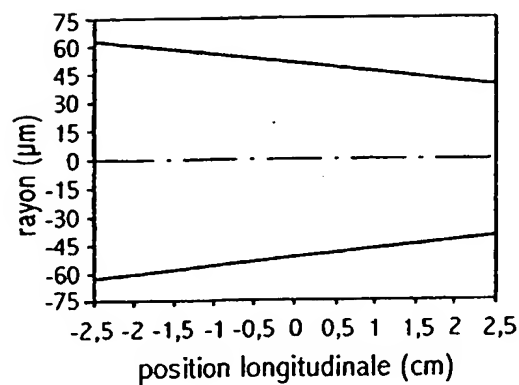
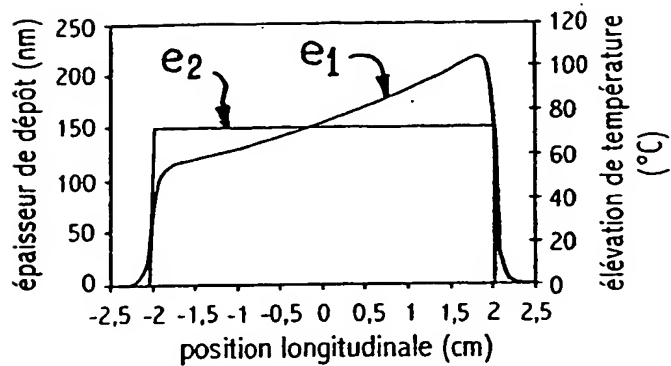
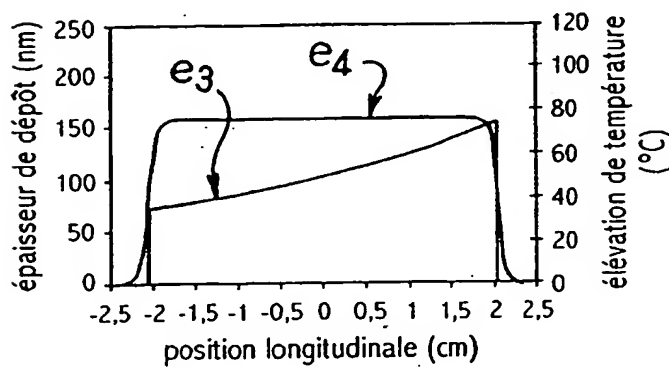
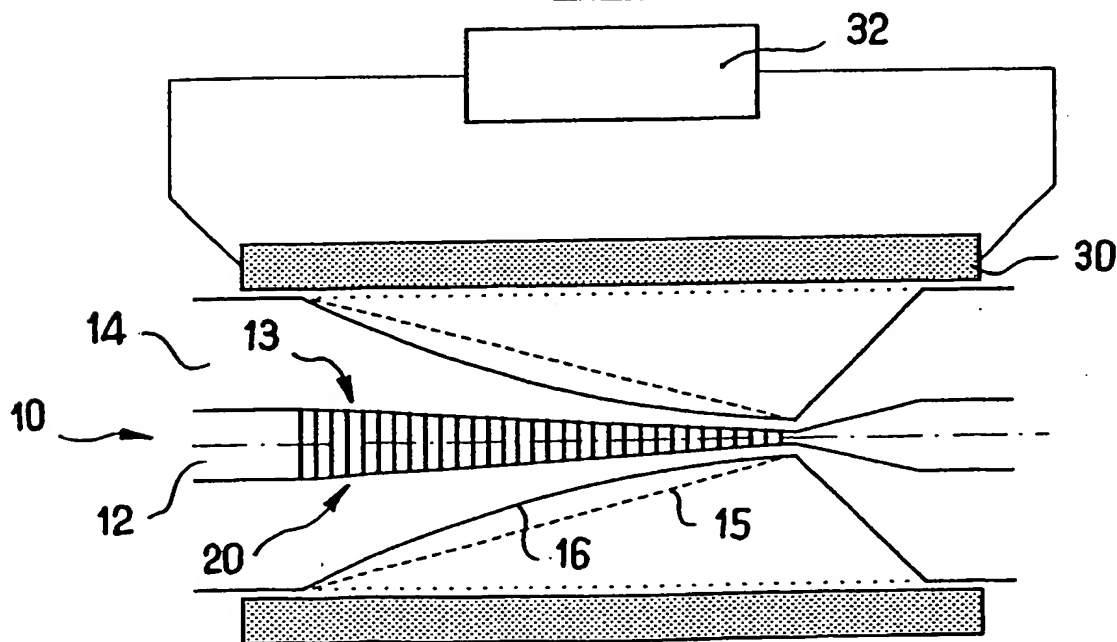
FIG.8FIG.8aFIG.8bFIG.8cFIG.9

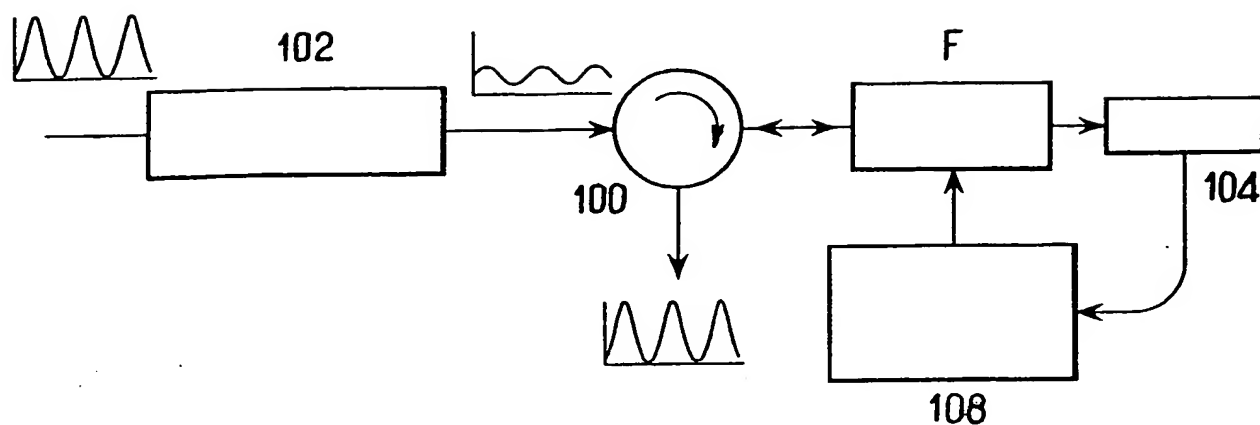
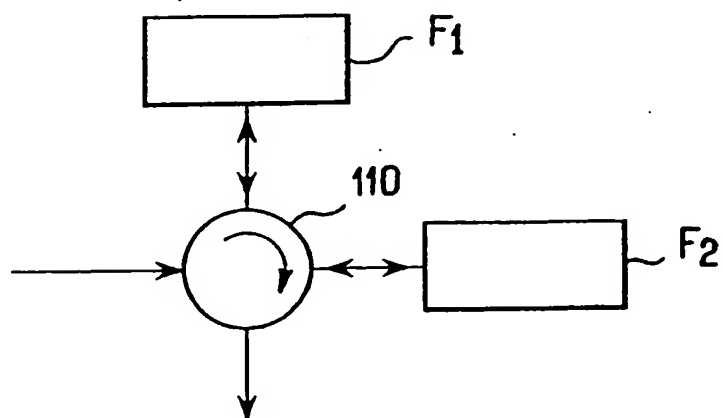
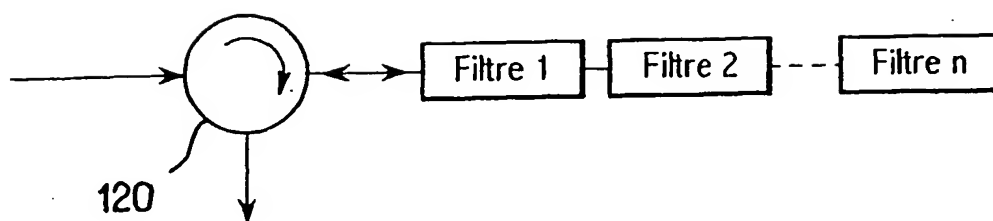
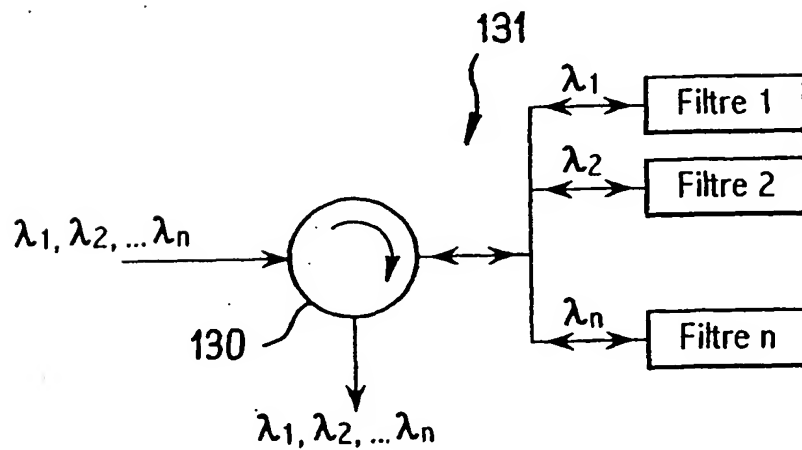
FIG.10FIG.11

FIG.12FIG.13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR 03/01197

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G02B6/16

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 420 948 A (BYRON KEVIN C) 30 May 1995 (1995-05-30) the whole document	1, 33, 52
A	---	7, 34
X	US 5 848 207 A (ARAI HIDEAKI ET AL) 8 December 1998 (1998-12-08)	1, 33
A	abstract; figures 7B, 8A-D, 9 column 5, line 55 - column 6, line 20	7, 34
A	EP 1 024 376 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC) 2 August 2000 (2000-08-02) cited in the application abstract; figures 1, 8-11	1, 33
A	EP 1 030 472 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC) 23 August 2000 (2000-08-23) cited in the application abstract; figures 1-3	1, 33
	--- -/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

G document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 August 2003

Date of mailing of the international search report

05/09/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Faderl, I

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR 03/01197

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5420948	A	30-05-1995	GB 2280968 A	15-02-1995
US 5848207	A	08-12-1998	US 5832154 A	03-11-1998
EP 1024376	A	02-08-2000	US 6181852 B1	30-01-2001
			CA 2291556 C	24-12-2002
			EP 1024376 A1	02-08-2000
			JP 2000221342 A	11-08-2000
EP 1030472	A	23-08-2000	US 6370300 B1	09-04-2002
			EP 1030472 A2	23-08-2000
			JP 2000244394 A	08-09-2000
			US 6307988 B1	23-10-2001
WO 0070379	A	23-11-2000	AU 4487700 A	05-12-2000
			CA 2372905 A1	23-11-2000
			EP 1192492 A1	03-04-2002
			JP 2002544557 T	24-12-2002
			WO 0070379 A1	23-11-2000
EP 0989426	A	29-03-2000	US 6301408 B1	09-10-2001
			EP 0989426 A1	29-03-2000
			JP 2000098164 A	07-04-2000

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demand nationale No
PCT/FR 03/01197

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

CIB 7 602B6/16

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 602B

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, INSPEC, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 5 420 948 A (BYRON KEVIN C) 30 mai 1995 (1995-05-30)	1,33,52
A	le document en entier	7,34
X	US 5 848 207 A (ARAI HIDEAKI ET AL) 8 décembre 1998 (1998-12-08)	1,33
A	abrégé; figures 7B,8A-D,9 colonne 5, ligne 55 -colonne 6, ligne 20	7,34
A	EP 1 024 376 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC) 2 août 2000 (2000-08-02) cité dans la demande	1,33
A	abrégé; figures 1,8-11	
A	EP 1 030 472 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC) 23 août 2000 (2000-08-23) cité dans la demande	1,33
A	abrégé; figures 1-3	
	--- -/-	

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

T document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

X document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

Y document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

Z document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

25 août 2003

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

05/09/2003

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets. P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Faderl, I

SUITE DES RENSEIGNEMENTS INDICUES SUR PCT/SA/ 210

Suite du cadre I.2

Les revendications 1-59 ont été partiellement recherchées, dans la mesure de leur clarté.

Raisons:

Les revendications 1-59 présentes ont trait à un procédé défini en faisant référence à une caractéristique ou propriété souhaitable, à savoir

a) opérer sur un guide optique un contrôle du profil évolutif intérieur du guide

b) inscription d'un réseau de Bragg selon les techniques qui permettent de contrôler de manière indépendante la variation longitudinale de la longueur d'onde de Bragg d'une part et la variation longitudinale du profil extérieur du guide d'autre part.

Etant donné que la première revendication n'est pas claire, les autres revendications ne le sont pas non plus, car elles dépendent d'elle.

Les revendications couvrent tous les procédés présentant cette caractéristique ou propriété, alors que la demande ne fournit un fondement au sens de l'Article 6, PCT pour un nombre très limité de tels procédés. Dans le cas présent, les revendications manquent de fondement et la demande manque d'exposé à un point tel qu'une recherche significative sur tout le spectre couvert par les revendications est impossible. Indépendamment des raisons évoquées ci-dessus, les revendications manquent aussi de clarté ("...opérer un contrôle...", "...inscription selon les techniques qui permettent de contrôler..."). En effet, on a cherché à définir le procédé au moyen du résultat à atteindre. Ce manque de clarté est, dans le cas présent, de nouveau tel qu'une recherche significative sur tout le spectre couvert par les revendications est impossible.

En conséquence, la recherche n'a été effectuée que pour une partie des revendications dont l'objet paraît clair, fondé et suffisamment exposé, à savoir les parties concernant les produits et méthodes pour obtenir un filtre basé sur une fibre optique avec variation de profil de type quasi-conique dont un réseau de Bragg est inscrit dans la partie quasi-conique afin de réaliser ladite fonction de filtrage (voir figure 1c). Pour ce filtre accordable, il est souhaitable que l'évolution de la longueur d'onde de Bragg soit linéaire quelle que soit la traction appliquée.

L'attention du déposant est attirée sur le fait que les revendications, ou des parties de revendications, ayant trait aux inventions pour lesquelles aucun rapport de recherche n'a été établi ne peuvent faire obligatoirement l'objet d'un rapport préliminaire d'examen (Règle 66.1(e) PCT). Le déposant est averti que la ligne de conduite adoptée par l'OEB agissant en qualité d'administration chargée de l'examen préliminaire international est, normalement, de ne pas procéder à un examen préliminaire sur un sujet n'ayant pas fait l'objet d'une recherche. Cette attitude restera inchangée, indépendamment du fait que les revendications aient ou n'aient pas été modifiées, soit après la réception du rapport de recherche, soit pendant une quelconque procédure sous le Chapitre II.

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande nationale No

PCT/FR 03/01197

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5420948	A	30-05-1995	GB 2280968 A	15-02-1995
US 5848207	A	08-12-1998	US 5832154 A	03-11-1998
EP 1024376	A	02-08-2000	US 6181852 B1	30-01-2001
			CA 2291556 C	24-12-2002
			EP 1024376 A1	02-08-2000
			JP 2000221342 A	11-08-2000
EP 1030472	A	23-08-2000	US 6370300 B1	09-04-2002
			EP 1030472 A2	23-08-2000
			JP 2000244394 A	08-09-2000
			US 6307988 B1	23-10-2001
WO 0070379	A	23-11-2000	AU 4487700 A	05-12-2000
			CA 2372905 A1	23-11-2000
			EP 1192492 A1	03-04-2002
			JP 2002544557 T	24-12-2002
			WO 0070379 A1	23-11-2000
EP 0989426	A	29-03-2000	US 6301408 B1	09-10-2001
			EP 0989426 A1	29-03-2000
			JP 2000098164 A	07-04-2000